

## 下肢動脈疾患の超音波検査 — 最近の進歩と現状 —

平井都始子<sup>1</sup> 東浦 渉<sup>2</sup> 阪口 昇二<sup>2</sup> 吉川 公彦<sup>2</sup> 大石 元<sup>3</sup>

**要 旨：**最近の超音波の進歩と、末梢動脈疾患における超音波の有用性について概説した。THIやcompound scanによりBモード画像の画質が向上し、パノラマ表示により末梢血管病変の全体像を客観的に表示できるようになった。カラードプラ法は、非侵襲的に形態の変化と生理的状態における血流情報を同時にリアルタイムで得ることのできる検査法である。われわれは、超音波をおもに閉塞性動脈疾患のスクリーニングとIVRの術前診断や治療後の効果判定と経過観察に施行し、良好な成績を得ている。今後、超音波検査がさらに多くの施設でスクリーニング検査ならびに精査法として活用されるようになることが期待される。(J Jpn Coll Angiol, 2004, 44: 727-734)

**Key words:** peripheral arterial disease, ultrasound

## はじめに

末梢血管の診断における超音波検査の最大のメリットは、血管の形態的な変化と同時にリアルタイムに血流動態を生理的状況下に侵襲なく観察でき、かつ定量的な評価も可能なことである。これらのメリットを生かして、さまざまな疾患の診断、治療、治療後の効果判定に応用されている。最近の超音波診断の進歩を示しながら、各疾患における超音波検査の有用性について概説する。

## 超音波新手法

## (1) Bモード画像

高周波数プローブでtissue harmonic imaging (THI)が可能となり、CTやMRIで用いられている画像処理技術の導入、compound scan技術などにより、最近の超音波画像は著しく改善されてきた。THIは、組織内を伝播する際に発生する送信波に対して、整数倍(2倍, 3倍…)のharmonic信号を用いて画像化する手法で、得られた画像は従来のBモード画像に比べるとアーチファクトが軽減され、方位分解能、コントラスト分解能も優れ

ている<sup>1)</sup>。また、超音波画像は、病変に対してビームが垂直に入射されるほど良好な画像が得られるが、最近の装置では、超音波の入射角度が変更できる。さらに、多方向から送信して得られた情報を重ね合わせて画像を構成するcompound scanにより、リアルタイム性は若干低下するが、S/Nの向上した空間分解能の良好な画像が得られる<sup>2, 3)</sup>。THIとcompound scanを組み合わせることにより、血管壁や内腔の微細な変化を詳細に観察できる(Fig. 1)。

## (2) 血流表示

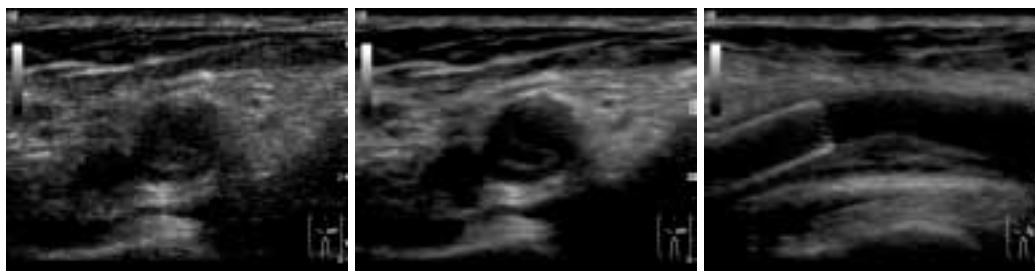
カラードプラ法の近年における精度の向上には目を見張るものがあり、足背動脈や足指の動脈も鮮明にカラー表示できるが、Bモード像に比べてリアルタイム性や空間分解能が悪く、心拍動や組織の振動など動きによるアーチファクトがみられるなどの欠点がある。最近、空間分解能を重視したドプラ法dynamic flowや、Bモード法により造影剤を用いずに血流を表示できる新しい手法“B-Flow”が開発され普及しつつある。B-Flowは基本的にBモードであるためカラードプラ法に比べて空間分解能に優れ、リアルタイム性の良い画像が得られる。また、超音波ビームと血流の角度に影響されないためプローブと並行に走行する血流も良好

<sup>1</sup>奈良県立医科大学中央内視鏡・超音波部

<sup>2</sup>奈良県立医科大学放射線科

<sup>3</sup>奈良県立奈良病院

2004年9月13日受理

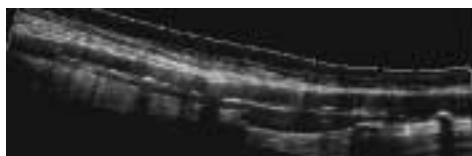


**Figure 1** Atheloma plaque and contour of the vessel wall were more clearly depicted by THI combined with compound scan than conventional B mode imaging.

A: Conventional B mode image.

B, C: Tissue harmonic imaging (THI) combined with compound scan (B: transverse, C: longitudinal).

A | B | C



A | B

**Figure 2** Panoramic view image shows almost entire SFA as much as MR angiography shows.

A: Panoramic view of the left superficial femoral artery (SFA).

B: MR angiography of the same case.

に表示され、折り返し現象がなく、遅い血流から早い血流まで同時に表示できる。本法はこれらの特徴により、限局した狭窄病変や動静脈瘤、動静脈奇形などの複雑な血管性病変も良好に描出できる<sup>4,5)</sup>。

### (3) パノラマ表示、三次元表示

末梢動脈は長軸方向に長い臓器で、超音波で描出できる範囲は高周波プローブを使用するほど狭くなるため全体像の描出が困難であり、病変の範囲を正確に計測できない欠点がある。しかし、最近の装置にはプローブの長軸方向に連続的に走査することにより、走査方向に沿ったパノラマ画像が得られる機能が搭載されている。この機能により広い範囲を1枚の画像上に描出し、客観的に把握することが可能になる(**Fig. 2**)<sup>5,6)</sup>。また、プローブを一定の速さで短軸方向に走査して得ら

れたボリュームデータから簡単に三次元構築可能となり、複雑な血管走行や分岐部と動脈瘤との関係などを客観的、立体的に表示できる。

## 血管性病変の超音波診断

### (1) 下肢閉塞性動脈疾患

閉塞性動脈疾患は末梢動脈疾患で最も頻度が高く、その大部分は動脈硬化によるものである。超音波検査は、下肢の冷感や間歇性跛行など動脈閉塞が疑われる症例のスクリーニング、interventional radiology (IVR) の術前評価、治療後の経過観察に用いられ、閉塞病変のIVRに際してカテーテル操作のナビゲーションとしても期待される。

1) 骨盤下肢閉塞性動脈疾患のスクリーニングとIVRの術前評価

単径部、膝窩部、足背、足関節内顆など診察時に脈を触れる部位で、血流波形を観察することにより、下肢の動脈血流障害の有無はほぼ確実に判定できる。血流波形は、収縮期最高流速(Vmax)や収縮期開始から最高流速に到達するまでの時間(acceleration time)が、測定部より中枢側の狭窄や閉塞を反映して変化するが、計測値には個人差があり、不整脈や測定誤差によりばらつきがあるため、左右差や中枢側と末梢側の波形の変化を観察することが基本となる。まず安静時仰臥位で左右の単径部(外腸骨動脈の末梢部)と、腹臥位で膝窩部(膝窩動脈中枢部)の4カ所でドプラ波形を計測する。この部位は超音波ビームと血流方向とのなす角度が小さく、常に安定した波形が得られる。われわれは、単径部(外腸骨動脈末梢部)と膝窩部動脈の中枢側または末梢側で得られた血流波形を以下の4型に分類し、狭窄性病変の有無を判定している。

#### ＊ドプラ波形の分類(Fig. 3)

D-1 型：急峻な立ち上がりの収縮期の山と、それに続く逆流成分を伴う正常波形。

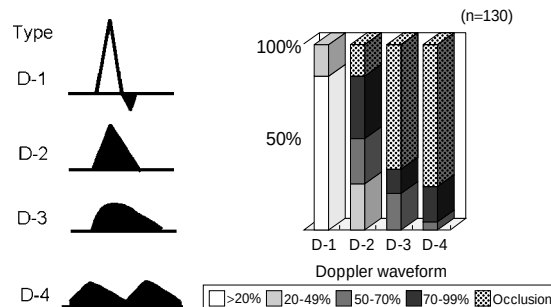
D-2 型：ピークの形成はあるが収縮期の山の幅が正常より広くなり、内部エコーがみられ、逆流成分が消失した波形。

D-3 型：収縮期の山はなだらかとなり、ピークの形成がないもの。

D-4 型：緩やかな連続波形。

得られたドプラ波形と測定部位より中枢側の血管の狭窄の程度を比較すると、D-1 型を示した場合、大部分の症例では中枢側の血管は正常または軽度の壁不整を認めるのみであった。数例に20～49%狭窄を認めたが、50%以上の狭窄例は認められなかった。また、血管造影で正常または軽度の壁不整を認めるのみであった例では、その末梢のドプラ波形はすべてD-1 型を示した。D-3、D-4 型を示した例は重度狭窄や閉塞例であった(Fig. 3)。以上の成績からドプラ波形がD-1 型を示した場合は、この部位より中枢側には有意な狭窄病変はないと判断し、D-1 型以外の波形を示した場合に限り、その中枢側をBモードとカラードプラ法で観察することになっている<sup>7,8,9)</sup>。

Bモードでは、病変部に動脈硬化による内膜の肥厚やアテロームプラークの形成、内膜の石灰化などの所見がとらえられる。器質化した血栓は血管内に充実性エコーとして描出されるが、新鮮な血栓は無エコーのこと

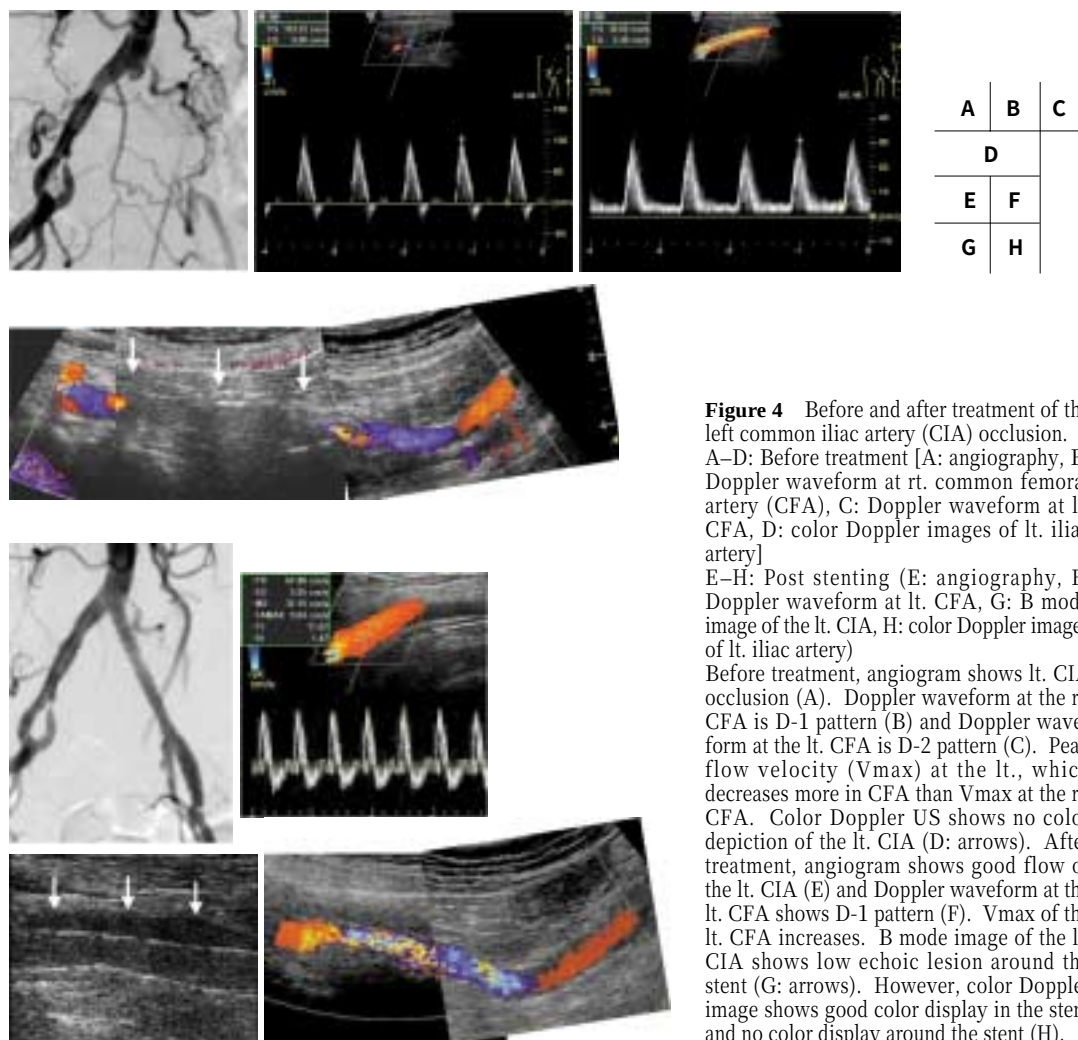


**Figure 3** Doppler waveform pattern and correlation of Doppler waveform pattern and stenosis ratio by angiography (n=130).

が多く、Bモード像のみから狭窄の程度や閉塞の有無を診断するのは困難である。しかし、血管径、石灰化の強い大きなアテロームプラークや動脈瘤合併の有無、血管の屈曲の程度などBモード像から得られる情報は、閉塞性動脈疾患の治療法を選択する際に重要となる<sup>8)</sup>。

カラードプラ法では、閉塞部はカラー表示の消失部として描出される。閉塞部中枢端では逆流や乱流がみられ、末梢側では側副血行路から流入する血流のカラー表示がとらえられることが多い(Fig. 4, 5)。閉塞病変では、一般的に血管の分岐部から次の分岐部までの範囲が閉塞する。大動脈分岐部からの閉塞は内腸骨動脈を側副血行路として外腸骨動脈から再開通、あるいは腹壁動脈や腸骨回旋動脈からの血管を側副血行路として総大腿動脈から再開通する。総大腿動脈が閉塞している場合は、深大腿動脈を側副血行路として浅大腿動脈が再開通する。したがって、血管全長が描出できなくても、血管の各分岐部を観察できれば閉塞の範囲を診断できる。

狭窄部は血管内腔の一部にのみカラー表示がみられ、狭窄部末梢ではジェット流や乱流を示すモザイク状のカラー表示がとらえられる(Fig. 6)。狭窄病変は閉塞と異なりどの部位にも発症し、多発していることも多く正確な診断が困難な場合がある。筆者らの経験では、カラードプラ法による病変の検出能は、腸骨動脈から膝窩動脈の閉塞病変は感度98.5%、特異度100%、狭窄病変は感度82.7%、特異度99.3%であった<sup>7)</sup>。骨盤内病変では、血管壁の石灰化が強い場合や術後などで消化管ガスが動かない場合など描出困難な症例もあるが、大部分は描出可能であり、特に、腸骨動脈の血管屈曲部



**Figure 4** Before and after treatment of the left common iliac artery (CIA) occlusion. A–D: Before treatment [A: angiography, B: Doppler waveform at rt. common femoral artery (CFA), C: Doppler waveform at lt. CFA, D: color Doppler images of lt. iliac artery] E–H: Post stenting (E: angiography, F: Doppler waveform at lt. CFA, G: B mode image of the lt. CIA, H: color Doppler images of lt. iliac artery) Before treatment, angiogram shows lt. CIA occlusion (A). Doppler waveform at the rt. CFA is D-1 pattern (B) and Doppler waveform at the lt. CFA is D-2 pattern (C). Peak flow velocity (Vmax) at the lt., which decreases more in CFA than Vmax at the rt. CFA. Color Doppler US shows no color depiction of the lt. CIA (D: arrows). After treatment, angiogram shows good flow of the lt. CIA (E) and Doppler waveform at the lt. CFA shows D-1 pattern (F). Vmax of the lt. CFA increases. B mode image of the lt. CIA shows low echogenic lesion around the stent (G: arrows). However, color Doppler image shows good color display in the stent and no color display around the stent (H).

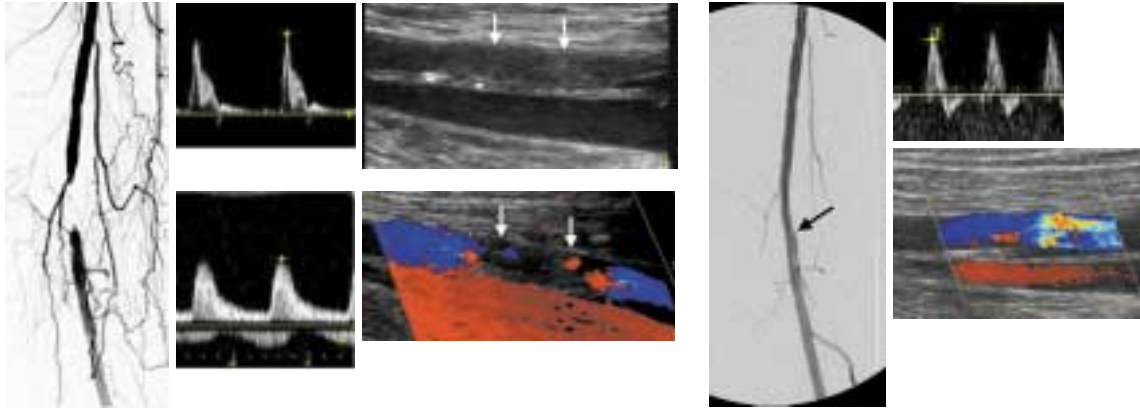
に存在する狭窄は、パワードブラ法の併用により検出しやすくなる。このように膝窩動脈までの閉塞性病変は、fast Fourier transform (FFT) 解析とカラードブラ法の併用によりほぼ診断可能である。膝窩部動脈以遠では、急性閉塞であれば病変末梢側の血流波形から病変を疑い、前・後脛骨動脈の閉塞を直接描出できる (Fig. 7) が、慢性期になると側副血行路が発達しやすく診断は困難となる。また、糖尿病性末梢血管障害やパージャーカー病などさらに末梢の動脈病変の診断は困難である。

## 2) IVR 後治療効果判定

治療後の超音波検査の目的は、血行動態改善の客観的評価と治療に伴う合併症の診断にある<sup>8~10)</sup>。実際に

は、まず両側の単径部と膝窩部のドブラ波形の型と Vmax を計測する。次いで治療部と血管穿刺部を B モードとカラードブラ法で観察する (Fig. 4, 5)。ドブラ波形が D-1 型で Vmax も正常値となり左右差が認められない場合は長期予後が良好である。しかし、D-2、D-3 型では高率に早期に再発する<sup>8)</sup>。

治療部では、B モード上アテロマプラークの扁平化や血管径の拡張、血管内腔エコーの消失が観察できる。ステント挿入例ではステントのワイヤー部が高輝度の線として描出される。ステント内血流も十分カラー表示可能である。経皮的血管形成術 (percutaneous transluminal angioplasty: PTA) 部には、広範囲の内膜剥



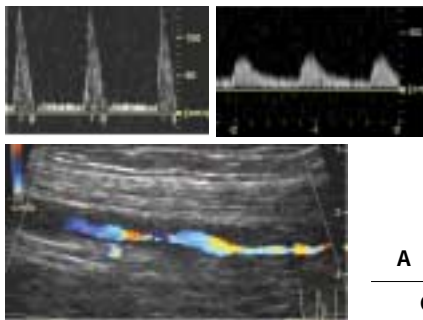
**Figure 5** Before and after treatment of Lt. SFA occlusion.

A–E: Before treatment [A: Lt. SFA angiography, B: Doppler waveform at Lt. CFA, C: Doppler waveform at Lt. popliteal artery (PA), D: B mode image of the occlusive site, E: color Doppler image of the occlusive site].

F–H: Post treatment (F: Lt. SFA angiography, G: Doppler waveform at Lt. PA, H: color Doppler images of the treated site).

Before treatment, angiogram shows short segmental occlusion of Lt. SFA (A). Doppler waveform at the Lt. CFA shows D-1 pattern (B) and Doppler waveform at the Lt. PA shows D-3 pattern (C). B mode image shows low echoic lesion at the occlusive site and color display of the occlusive site disappears (D, E: arrows). After balloon angioplasty, angiogram shows good patency of the Lt. SFA (F: arrow) and Doppler waveform at the Lt. PA shows D-1 pattern (F). Color Doppler image shows good color display at the treated site.

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| A | B | D | F | G |
|   | C | E |   | H |



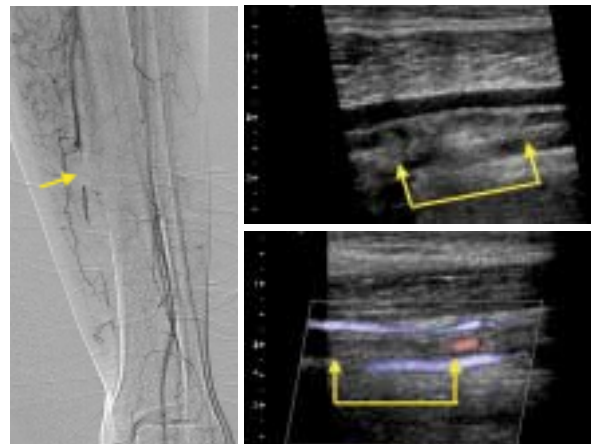
**Figure 6** Stenosis of the Lt. SFA.

A: Doppler waveform at the Lt. CFA.

B: Doppler waveform at the Lt. PA.

C: Color Doppler image of the stenosis site.

Doppler waveform at the Lt. CFA shows D-1 pattern (A) and Doppler waveform at the Lt. PA shows D-3 pattern (B).



**Figure 7** Occlusion of the lt. posterior tibial artery (PTA).

A: Angiogram.

B: B mode image of the occlusive site.

C: Color Doppler image of the occlusive site.

Angiogram shows short segmental occlusion of the Lt. PTA (A: arrow). B mode image shows low echoic lesion at the occlusive site and color display of the occlusive site disappears by color Doppler US (B, C: arrows).

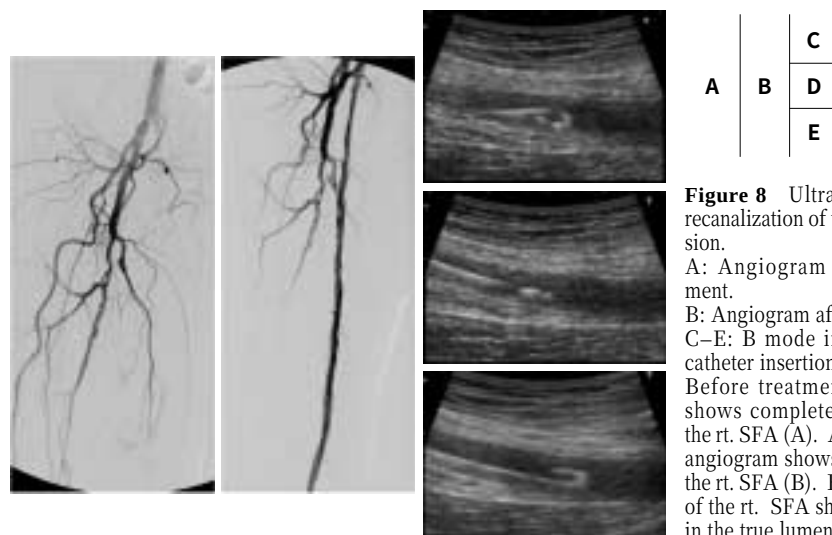
|   |   |
|---|---|
| A | B |
|   | C |

離を合併することがあるが<sup>3</sup>、最近ではステント挿入が一般的となり、またIVR直後にintravascular ultrasound (IVUS)で確認して手技を終了するため合併症をみることはほとんどない。穿刺部に発症した仮性動脈瘤や動静脈瘻、血腫などの診断については後述する。

### 3)IVR術中支援

長い閉塞病変のIVRにおいて、透視下にはワイヤーが血管内腔を貫通しているかどうかは確認できず、大き

く血管走行をはずれていないことが確認できるだけである。ワイヤーを操作する手の感覚のみに頼っているのが現状であるが、超音波では閉塞部の血管と同時にワ



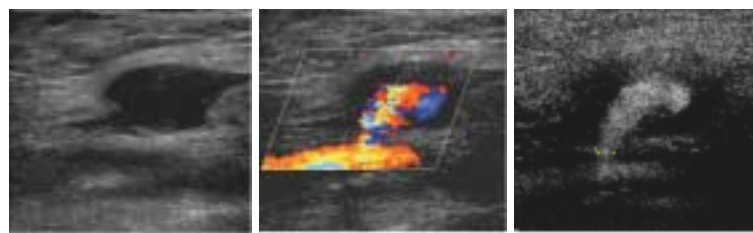
**Figure 8** Ultrasound guided recanalization of the SFA occlusion.

A: Angiogram before treatment.

B: Angiogram after PTA.

C–E: B mode images during catheter insertion.

Before treatment angiogram shows complete occlusion of the rt. SFA (A). After treatment angiogram shows good flow of the rt. SFA (B). B mode images of the rt. SFA show guide wire in the true lumen.



**Figure 9** Pseudoaneurysm due to angiography.

A: B mode image.

B: Color Doppler image.

C: B-Flow image.

B mode image shows anechoic lesion at the puncture site. Color Doppler image and B-Flow image show turbulent flow signals in the anechoic lesion. The neck of aneurysm is displayed more accurately by B-Flow than by color Doppler US.

ワイヤーを描出できるので、特に浅大腿動脈の長い閉塞病変のIVRに対して、最近超音波ガイドでのワイヤーやカテーテル操作を試みている(**Fig. 8**)。視野が狭いため、ワイヤー操作に合わせて血管を描出するのに多少熟練が必要であるが、安全かつ正確にワイヤーやカテーテルを貫通させることができる。リアルタイム3Dが可能なプローブで血管走行と直交する断面におけるワイヤーの位置確認が簡便にできる手法が開発されれば、IVR術中支援としてさらに有用性を発揮すると考えている。

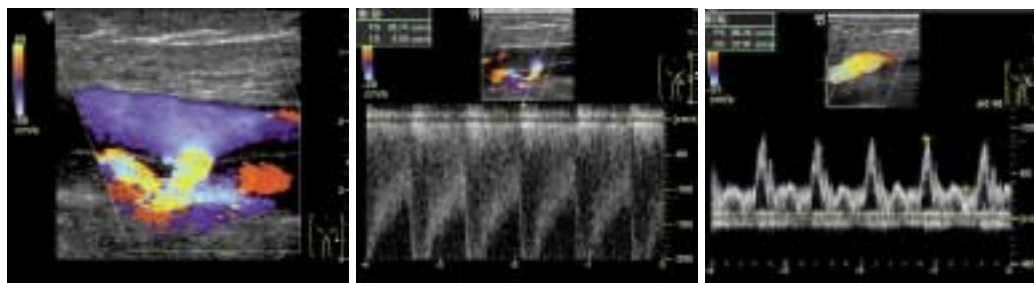
## (2) 動脈瘤

末梢動脈の真性動脈瘤はまれであるが、腸骨動脈な

どに動脈硬化による動脈瘤が発症することがある。Bモードでは血管の拡張状況が、カラードプラ法では血栓の有無や動脈瘤内とその末梢の血流状態が把握できる。

仮性動脈瘤は、外傷やIVR後に発症するが、近年血管IVRの増加により大腿動脈穿刺部に仮性動脈瘤の発症が増えている<sup>11)</sup>。Bモードで穿刺部皮下の動脈との間に辺縁のやや不整な無～低エコー腫瘍として描出され、拍動を触れる。動脈穿刺部との連続性はBモードでは不明瞭である。カラードプラ法では動脈から瘤内にジェット状に流入し、瘤内で渦巻くようなカラー表示が得られる(**Fig. 9**)。頸の小さな(<3mm程度)仮性動





**Figure 10** A-V fistel.

A: Color Doppler image.

B: Doppler waveform at the fistel.

C: Doppler waveform at the proximal site of A-V fistel.

Color Doppler shows A-V fistel (A). Doppler waveform at the fistel shows very high velocity flow and Doppler waveform at the proximal site shows higher diastolic flow than normal waveform.

脈瘤ではカラードプラ法でモニターしながら直接プロープで持続圧迫し治療する。

＊仮性動脈瘤カラードプラガイド下治療

5MHz コンベックス型プロープで仮性動脈瘤を描出する。動脈瘤内のカラー表示が消失し、大腿動脈と静脈の血流が保たれる程度の圧迫を加える。10分間を1クールとして圧迫し、動脈瘤内のエコーレベルの上昇とカラー表示の消失がみられ、血栓化が得られたと判断した時点で圧迫を終了する。所要時間は20～60分(平均40分)で血栓化が得られる。翌日のカラードプラ法で瘤内の血流状態を観察し、再開通のないことを確認する。通常1週間後には血栓化した仮性動脈瘤の縮小がみられる<sup>11)</sup>。

### (3) 動静脈瘻

動静脈瘻は外傷後や、血管造影時に穿刺部の大腿動脈と併走する静脈の間に形成されることが多い。Bモードでは通常、動脈と静脈の間の交通はとらえられない。カラードプラ法では動脈から静脈内にジェット状に流入する血流が明瞭に描出される。血流速度の差が大きくカラードプラ法では動脈と静脈を同時にカラー表示することが困難な場合や、tissue vibrationによるアーチファクトが強く瘻孔の位置やサイズが描出困難な場合はdynamic flowやB-Flowを用いると良好な画像が得られる。瘻孔部ではFFT解析で乱流波形が得られ、瘻孔の中核側動脈の波形は、シャントのため末梢血管抵抗の低下を示唆する拡張期血流の上昇した波形を示す(Fig. 10)。

## 文 献

- 1) Burns PN: Harmonic imaging with ultrasound contrast agents. Clin Radiol, 1996, **51** (Suppl 1): 50-55.
- 2) Jespersen SK, Wilhjelm JE, Sillesen H: In vitro spatial compound scanning for improved visualization of atherosclerosis. Ultrasound Med Biol, 2000, **26**: 1357-1362.
- 3) Kofoed SC, Gronholdt ML, Wilhjelm JE et al: Real-time spatial compound imaging improves reproducibility in the evaluation of atherosclerotic carotid plaques. Ultrasound Med Biol, 2001, **27**: 1311-1317.
- 4) 平井都始子, 大石 元, 山田麗子他: 新しい超音波血流表示法“B-Flow”による末梢血管性病変の診断評価—初期臨床経験—. 脈管学, 2000, **40**: 389-392.
- 5) 平井都始子, 阪口昇二, 吉川公彦他: 超音波の最近の進歩と大動脈・末梢血管への展開. 脈管学, 2001, **41**: 781-784.
- 6) 平井都始子, 大石 元, 吉川公彦他: 血管系インターベンションに対するカラードプラおよび3D画像の応用. IVR, 1999, **14**: 295-301.
- 7) Hirai T, Ohishi H, Kichikawa K et al: Ultrasonographic screening for arterial occlusive disease in the pelvis and lower extremities. Radiat Med, 1998, **16**: 411-416.
- 8) 平井都始子, 吉川公彦, 田仲三世子他: 超音波検査による骨盤・下肢閉塞性動脈疾患の診断—特にPTA術前診断と効果判定—. 脈管学, 1993, **33**: 27-32.
- 9) 平井都始子, 阪口昇二, 東浦渉他: 超音波診断と治療効果判定. 画像診断, 2003, **23**: 892-900.
- 10) Hirai T, Ohishi H, Kichikawa K et al: Evaluation of pretreatment and follow-up examination with color Doppler flow imaging in arterial occlusive diseases in the pelvis and

lower extremity. Nippon Igaku Hoshasen Gakkai Zasshi, 1993, **53**: 916–930.

11) 平井都始子, 大石 元, 山田麗子他: カラー Doppler 法による IVR に伴う血管損傷の診断. IVR, 1996, **11**: 190–196.

## Ultrasonography of the Peripheral Arterial Disease — Recent Advances and Clinical Application —

Toshiko Hirai,<sup>1</sup> Wataru Higashiura,<sup>2</sup> Shoji Sakaguchi,<sup>2</sup> Kimihiko Kichikawa,<sup>2</sup> and Hajime Ohishi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Endoscopy and Ultrasound, and <sup>2</sup>Radiology, Nara Medical University,

<sup>3</sup>Nara Prefectural Nara Hospital, Nara, Japan

---

**Key words:** peripheral arterial disease, ultrasound

Recent advances and clinical application of ultrasound for the peripheral arterial diseases are discussed. Tissue harmonic imaging and compound scan improve the quality of B mode images, and extended-field-of-view imaging (panoramic view) contributes to a more objective evaluation of the entire peripheral arteries. Color Doppler US delivers the morphological and functional information of peripheral arterial disease in real time and noninvasively. Ultrasonography assists greatly in screening of arterial occlusive disease and conducting pre and post IVR examinations. In near future, ultrasonography is expected to become widely available for the diagnosis and follow-up of peripheral arterial disease.

(J Jpn Coll Angiol, 2004, **44**: 727–734)